

مدل‌سازی شدت تصادفات موتورسیکلت در شهر تهران*

محمود احمدی نژاد، استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
جلیل شاهی، دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
عبدالرضا شیخ الاسلامی، عضو هیئت علمی و دانشجوی دکترای مهندسی و برنامه‌ریزی حمل و نقل دانشکده عمران،
دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail: jalil@iust.ac.ir

چکیده:

در این مقاله نتایج کاربرد اطلاعات گردآوری شده در مورد وقوع تصادفات موتورسیکلت در شهر تهران با هدف دستیابی به مدلی که قادر به پیش‌بینی شدت تصادفات مزبور باشد ارائه شده است. روش مدل‌سازی مورد استفاده در این تحقیق، روش رگرسیون لاجستیک و یا جایگزین‌های آن شامل پرابیت و لاجیت دوگانه بوده است. ابتدا با استفاده از مدل عمومی پرابیت و تعریف یک متغیر که دارای چهار درجه و نشان دهنده شدت تصادف بوده است، متغیرهای مستقل قابل در نظر گرفتن در مدل، با استفاده از نتیجه آزمون آماری Wald انتخاب شده‌اند. در مرحله بعد، متغیر شدت به یک متغیر دوگانه تبدیل شده و با بهره‌گیری از ترکیب‌های مختلف متغیرهای مستقل غیروابسته، مدل‌های مختلف شدت تصادف از روش لاجیت دوگانه به دست آمده‌اند. در این تحقیق اصول مدل‌سازی به روش رگرسیون لاجستیک تشریح شده و روش‌های جایگزین آن نیز مورد بررسی مقایسه‌ای قرار گرفته و به بررسی اثر متغیرهای مستقل مختلف، بر شدت تصادف پرداخته شده است. بررسی اثر متغیرها بر شدت، با استفاده از پارامتر شانس احتمال ارزیابی شده که براساس آن، نامشخص بودن مشخصات گواهینامه، وقوع تصادف بین ساعت ۴ تا ۶ صبح، دخیل بودن مینی بوس یا اتوبوس، وقوع تصادف در بزرگراه یا کمربندی، برخورد با وسایل نقلیه سنگین، وجود مانع دید، وقوع تصادف بین ساعت ۲۴ تا ۲ بامداد و وجود نقص در علائم، عواملی بوده‌اند که نقش عمده‌ای در افزایش شدت تصادفات داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: تصادف، موتورسیکلت، شدت، مدل‌سازی، لاجستیک، پرابیت

۱. مقدمه

نشان می‌دهد که تا کنون به مدل‌سازی شدت تصادفات موتورسیکلت توجه کافی نشده است. عوامل بسیاری چون جنسیت، سن، نوع وسایل نقلیه درگیر، نحوه حرکت وسایل نقلیه در هنگام تصادف، سرعت حرکت و عوامل طرح هندسی راه و غیره که بر شدت تصادف تأثیرگذارند،

باتوجه به این که هزینه و عوارض هر تصادف تابع مستقیم شدت آن است، شناخت عواملی که باعث تشدید عوارض تصادفات می‌شوند از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به همین دلیل در مطالعات ایمنی ترافیک تلاش بسیاری برای ارائه مدل‌های شدت به عمل آمده است. در عین حال، بررسی سوابق مطالعات

مدل پرابیت ترتیبی علاوه بر مدل‌سازی شدت تصادفات، در موارد گوناگونی در بررسی مسائل حمل و نقل به کار رفته است. محمد حامد و سعید عیسی مدل پرابیت ترتیبی را برای شناسایی عوامل مؤثر در باور رانندگان به کارآیی کمربند ایمنی و عوامل مؤثر در استفاده از آن به کار برده‌اند [۳].

کوکیلمن^۴ مدل‌هایی در مورد تصادفات شامل دو وسیله، تک وسیله و تمامی انواع تصادفات را به طور جداگانه ارایه و بررسی کرده و به علت تفاوت ماهیت انواع تصادفات و عوامل بروز آنها، برای حصول نتایج بهتر در مدل‌سازی آنها را توصیه کرد [۴].

لی^۵ و منرینگ^۶ با به کار بردن مدل لاجیت برای تصادفات خروج از جاده، رابطه‌ای در مورد پیش‌بینی شدت این نوع تصادفات ارایه کرده و به بررسی عوامل مختلف مؤثر بر آن پرداختند [۵].

کرول^۷ و خطاک^۸ توسط مدل لاجیت دوگانه، ارتباط شدت تصادفات تک وسیله را با عوامل مختلف بررسی کردند. شدت تصادفات در این تحقیق به دو گروه "فوتی و نقص عضو" یا "جرحی و خسارتی" تقسیم شده است [۶].

وگت^۹ و بارد^{۱۰} نیز با تقسیم بندی شدت تصادفات به دو گروه تصادفات "فوتی یا جرحی"، "جرح کم یا مالی" و "بکارگیری مدل لاجیت دوگانه، رابطه‌ای برای شدت تصادفات در جاده‌های دوخطه برون شهری برحسب عوامل مختلف ارایه کردند [7].

کیم^{۱۱} و نیتز^{۱۲} با استفاده از مدل لگاریتم خطی، ارتباط بین نحوه تصادفات و شدت را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق مزبور، از داده‌های مربوط به تصادفات گزارش شده توسط پلیس در مورد تصادفات ایالت هاوایی استفاده شده است [8].

چنگ^{۱۳} و منرینگ^{۱۴} با استفاده از مدل لاجیت، شدت تصادف کامیون‌ها را مورد مطالعه قرار دادند [9].

چیرا چاوالا و همکاران^{۱۵} با استفاده از مدل لاجیت، عواملی را که باعث شدت تصادفات کامیون‌ها می‌شود بررسی کردند و نشان دادند که تصادف در شب و جاده‌های برون شهری جدانشده، باعث افزایش تلفات و جراحات می‌شوند [10].

۳. روش مدل سازی

امروزه استفاده از اطلاعات گردآوری شده در مورد پیشینه یک رخداد، برای مدل‌سازی پیش‌بینی آتی وقوع رخداد موردنظر، کاربردی متداول یافته است [۱]. این امر به ویژه در مواردی چون

قابل منظور کردن در مدل شدت هستند. مدل‌سازی شدت تصادفات برحسب پارامترهای مزبور، امکان پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع تصادفات نیازمند تجهیزات امداد رسانی را فراهم می‌کند، و علاوه بر آن، با استفاده از این مدل، می‌توان به بررسی میزان تاثیر هر عامل در شدت بخشیدن به تصادفات پرداخت. آشکار است که چنین شناختی، منتهی به امکان‌پذیر شدن تدوین برنامه‌های ایمن‌سازی تردد در جهت کاهش تبعات ناشی از تصادفات می‌شود.

در حالت کلی، دو روش برای حصول به اهداف فوق متصور است؛ انجام آزمایش در محیط واقعی و مدل‌سازی بر پایه اطلاعات گردآوری شده.

آشکار است که ایجاد تغییر در شرایط شبکه معابر شهر تهران به منظور انجام آزمایش‌های واقعی که منجر به شناخت عوامل مؤثر بر شدت تصادفات موتورسیکلت شود، امری امکان‌ناپذیر است. دلایل اصلی غیرممکن بودن انجام چنین آزمایش‌هایی، علاوه بر هزینه بسیار زیاد آن، نظم ناپایدار تردد در شبکه معابر شهر است که تغییرات ناچیز در وضعیت آن، موجب تراکم و بی‌نظمی می‌شود و بعضاً تا وضعیت تردد در محل موردنظر را تا ساعت‌ها دچار اختلال می‌سازد. از سوی دیگر، بنابر شرایط حاکم بر فرهنگ تردد، رفتار شهروندان شدیداً متأثر از این امر است که نظارتی بر اعمال خویش احساس کنند یا آن که فارغ از نظارت افرادی همچون پلیس راهنمایی و رانندگی، رفتار آزادانه داشته باشند. از آنجاکه ترتیب آزمایش‌های واقعی بدون همکاری پلیس مقدور نیست، صرف برقراری شرایط آزمایشی، منجر به ایجاد وضعیتی می‌شود که با وضعیت عادی تردد تفاوت دارد.

بنابراین در تحقیق حاضر با استفاده از اطلاعات گردآوری شده در مورد سوابق رخداد تصادف‌های موتورسیکلت در شهر تهران، اقدام به ارایه مدل پیش‌بینی شدت تصادفات موتورسیکلت شده است.

۲. پیشینه

مدل‌سازی و بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادف تا کنون موضوع تحقیقات بیشماری بوده است. برخی از مدل‌های عمومی ارایه شده در مورد شدت تصادف در ادامه مورد اشاره قرار می‌گیرد [۱]. رنسکی^۱ و خطاک^۲ مدل پرابیت ترتیبی^۳ را برای بررسی تأثیر عوامل مختلف بر شدت تصادفات به کار بردند [۲].

نشان دهد، Y دارای توزیع دو جمله‌ای^{۱۷} است که تابع توزیع آن به صورت زیر است:

$$f(y; n, p) = \sum_{k=0}^y \binom{n}{k} p^k q^{n-k} \quad (2)$$

در توزیع دو جمله‌ای، امید ریاضی و واریانس مقادیر، هر دو وابسته به احتمال p هستند. بنابراین، هر متغیر مؤثر بر احتمال، نه تنها بر میانگین مقادیر، بلکه بر واریانس آنها نیز مؤثر است.

این امر مهم‌ترین وجه تمایز رگرسیون لاجستیک نسبت به رگرسیون خطی است. در روش رگرسیون خطی فرض می‌شود که متغیرهای مستقل صرفاً بر مقدار میانگین مقادیر مؤثرند و واریانس مقادیر الزاماً ثابت است [۱۳].

رگرسیون لاجستیک را می‌توان یک مدل رگرسیون خطی تعمیم‌یافته در نظر گرفت که توزیع بینم یا دو جمله‌ای بر متغیرهای پاسخ آن حاکم بوده و از تابع انتقال لاجیت پیروی می‌کند [۱۴].

۳-۲ تابع انتقال لاجیت

شرایطی در نظر گرفته می‌شود که در آن هدف از کاربرد رگرسیون، پیش‌بینی احتمال وقوع یک رخداد باشد. در این حالت، هدف از رگرسیون، ساخت مدلی است که قادر باشد به پیش‌بینی احتمال π_i به صورت تابعی از X_i یعنی بُرداری از متغیرهای مستقل بپردازد. آشکار است در ساده‌ترین حالت می‌توان π_i را تابعی خطی از X_i در نظر گرفت.

$$\pi_i = X_i' \beta \quad (3)$$

که در آن β بردار ضرایب رگرسیون است. یکی از مشکلات چنین مدلی آن است که سمت چپ معادله باید بین صفر و یک باشد (زیرا π_i یک احتمال است)، در حالی که ضرب برداری $X_i' \beta$ در سمت راست، کلیه اعداد حقیقی را شامل می‌شود.

یک روش ساده برای حل این مسأله، مدل‌سازی تابع انتقال یافته‌ای از احتمال π_i است. به منظور تعریف تابع انتقال، ابتدا احتمال π_i به شانس موفقیت^{۱۸} تبدیل می‌شود.

$$odds_i = \frac{\pi_i}{1 - \pi_i} \quad (4)$$

مطالعات تصادفات که انجام آزمون‌های کنترل شده درمورد آن هزینه‌های قابل‌توجهی به‌همراه دارد، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

مدل‌سازی شدت تصادفات با بهره‌گیری از اطلاعات گردآوری شده، با روشهای مختلف قابل انجام است. عموماً مدل‌های مورد استفاده در این بخش، مدل‌های رگرسیون لاجستیک یا مشتقات آن هستند. مدل‌های پرابیت و لاجیت چندگانه، در شرایطی که متغیر وابسته یک متغیر دسته‌بندی شده باشد، در مطالعات ایمنی بیشترین کاربرد را داشته‌اند. در مواردی که دسته‌بندی متغیر وابسته ساختار ترتیبی داشته باشد، یعنی دسته‌بندی از رتبه پائین‌تر به رتبه بالاتر، برحسب شدت یا درجه اهمیت یک پارامتر صورت گرفته باشد، انتخاب طبیعی به‌عنوان مدل برتر، مدل‌های رگرسیون لاجستیک ترتیبی^{۱۵} است [۱۱].

۳-۱ اصول آماری

رگرسیون لاجستیک در اصل به منظور مدل‌سازی اطلاعات دوگانه^{۱۶} و برای مواردی که متغیر پاسخ، صرفاً یک مقدار از بین دو حالت محتمل را به خود بگیرد تدوین شده است. در این حالات، عموماً شرایط آزمون برنولی بر داده‌ها حاکم است. در علم آمار، آزمون برنولی به‌عنوان یک آزمایش تصادفی تعریف می‌شود که فضای نمونه آن تنها از دو پیشامد تحت‌عنوان شکست یا پیروزی تشکیل شده باشد. Y به‌عنوان متغیر تصادفی برنولی به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۲]:

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{پیروزی} \\ 0 & \text{شکست} \end{cases}$$

در صورتی که فرض شود: $P(Y=1) = p$ و $P(Y=0) = q$ ، به ترتیب احتمال‌های کسب پیروزی یا شکست در آزمون برنولی باشند، روابط زیر بین p و q برقرار است:

$$\begin{aligned} 0 < p < 1 \\ p + q &= 1 \end{aligned} \quad (1)$$

در صورتی که یک آزمون برنولی با پارامتر p ، n بار مستقلاً تکرار شود، و متغیر تصادفی Y تعداد کل پیروزی‌های حاصل را

ضرب می‌شود. بنابراین تابع نمایی ضرایب ثابت $\{\beta_j\}$ ، بیانگر مقدار تغییر در شانس موفقیت^{۲۰} است. [۱۵]

۳-۳ تحلیل پرابیت^{۲۱}

دلیل این امر که به جای مدل‌سازی خود احتمال، لاجیت احتمال مدل می‌شود، این است که احتمالات برآورد شده توسط مدل را الزاماً در بازه ای بین صفر و یک قرار دهد. اما آشکار است که "لاجیت" تنها تابعی نیست که می‌تواند این امر را محقق سازد. مدل‌های دیگری نیز وجود دارند که به شکل مشابه، از توابع انتقال با شکل‌های متفاوت استفاده می‌کنند. برجسته‌ترین این مدل‌ها، مدل پرابیت است. در تحلیل پرابیت، مدل‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$\phi^{-1}(p) = b_0 + b_1 x_{1i} + \dots + b_k x_{ki} \quad (۸)$$

که در آن:

ϕ = تابع توزیع در نرمال استاندارد است

ϕ^{-1} = نیز معکوس تابع توزیع نرمال است.

روش تحلیل پرابیت نسبت به رگرسیون لاجستیک، قدمت نسبتاً قابل‌توجهی دارد، اگرچه تقریباً هر دو مدل دارای ساختار کاملاً مشابهی هستند. عبارت *probit* (که اولین بار توسط Bliss در سال ۱۹۳۴ معرفی شد)، در واقع مخفف *probrabilityUnit* است، همان‌گونه که *logit* مخفف *Logarithmic Unit* است.

مدل‌های لاجستیک یا پرابیت منظم، از منطق و شیوه تقریباً یکسانی برخوردارند.

تفاوت عمده این مدل‌ها با یکدیگر، استفاده از نوع متفاوت تابع انتقال در مورد متغیر وابسته مدل است. در تحقیق حاضر، متناسب با امکانات موجود در نرم‌افزار آماری SPSS که برای برآورد مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، از چهار تابع انتقال معروف موجود در مورد مدل‌سازی رگرسیون لاجستیک ترتیبی که عبارتند از کاجیت^{۲۲}، لاجیت^{۲۳}، لگاریتمی- لگاریتمی منفی^{۲۴} و پرابیت هستند استفاده شده است. تابع ارتباط لگاریتمی- لگاریتمی منفی به صورت $f(z) = -\text{Log}(-\text{Log}(z))$ تعریف می‌شود. تابع انتقال کاجیت نیز عبارت از $f(z) = \tan(\pi(z - 0.5))$ ، که معکوس تابع توزیع کاجی^{۲۵} است. [۱۴]

رابطه فوق، نسبت یک احتمال به مکمل آن، یا نسبت موارد موفقیت به شکست را محاسبه می‌کند. (احتمال ۵۰٪ به معنی شانس موفقیت یک به یک است).

مزیت رابطه فوق آن است که مقدار آن همواره کوچکتر از یک است. در مرحله دوم، از رابطه فوق لگاریتم گرفته می‌شود تا لاجیت یا لگاریتم شانس موفقیت^{۲۶} به دست آید:

$$\eta_i = \text{Logit}(\pi_i) = \text{Log} \frac{\pi_i}{1 - \pi_i} \quad (۵)$$

دراثر کاربرد این رابطه، محدودیت حد پائینی (صفر) به صورت خودکار در مدل‌سازی اعمال می‌شود. طبق تعریف فوق، لاجیت، تابع انتقالی است که احتمالات واقع در بازه (۰ و ۱) را به تمام مقادیر اعداد حقیقی نگاشت می‌کند. در صورتی که احتمال ۵۰٪ باشد، شانس موفقیت یکسان و لاجیت صفر است. لاجیت‌های منفی بیانگر احتمالات کمتر از ۵۰٪ و لاجیت‌های مثبت بیانگر احتمالات بیشتر از ۵۰٪ است.

مدل رگرسیون لاجستیک با این فرض که لاجیت احتمال π_i به جای خود احتمال، از مدل خطی تبعیت کند و توزیع دو جمله‌ای بر داده‌ها حاکم باشد تعریف می‌شود.

ضرایب ثابت β در رگرسیون لاجستیک نیز همانند ضرایب متغیرها در مدل خطی، به منظور بررسی اثر متغیرهای مستقل بر متغیر پاسخ به‌کار می‌روند. تفاوت موجود در این زمینه آن است که سمت چپ معادله در عوض مقادیر پاسخ، لاجیت مقادیر است. بنابراین β_j بیانگر تغییر در مقدار لاجیت احتمال ناشی از ایجاد یک واحد تغییر در متغیر Z_j با فرض ثابت بودن سایر متغیرهاست زیرا:

$$B_1 x_1 + \dots + B_j (x_j + 1) + \dots + B_n x_n - (B_1 x_1 + \dots + B_j x_j + \dots + B_n x_n) = B_j \quad (۶)$$

از آنجاکه طبق تعریف لاجیت،

$$\frac{\pi_i}{1 - \pi_i} = \exp\{X_i' \beta\} \quad (۷)$$

است، در صورتی که متغیر Z_j با فرض ثابت بودن سایر متغیرها یک واحد تغییر کند، شانس موفقیت‌ها در ضریب $\{\beta_j\}$

۳-۴ رگرسیون لاجستیک چندگانه^{۳۶}

اگر متغیر Y به جای دوگانه بودن، در k دسته طبقه بندی شده باشد، لازم است تعمیمی از مدل لاجستیک تعریف شود. در این حالت، n_i بیانگر تعداد مشاهدات در دسته i و Y_i نشان دهنده تعداد دفعاتی است که متغیر پاسخ در دسته مزبور دارای مقدار یک بوده است. فرض می‌شود که در این صورت، متغیر Y_i بازتاب متغیر تصادفی Y_i باشد به طوری که $0, 1, \dots, n_i$ را اختیار کند. در صورتی که n_i ها، تعداد مشاهدات هر دسته مستقل بوده و همگی دارای احتمال وقوع مشابه π_i باشند، در این صورت متغیر Y_i دارای توزیع دو جمله‌ای با پارامترهای π_i و n_i خواهد بود. این مدل در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که متغیر وابسته مدل لاجستیک بیشتر از دو درجه داشته باشد. (در مدل‌سازی شدت تصادفات در موارد متعددی، مقیاس شدت دارای درجاتی بیشتر از دو درجه است) در این حالت، سه شکل متداول مدل رگرسیون به صورت زیرند:

(۱) مدل‌های اسمی به صورت

$$pr\{Y = j | X\} = \frac{\exp\{b_{0j} + b_{1j} X_1 + \dots + b_{pj} X_p\}}{1 + \sum_{i=1}^{k-1} \exp\{b_{0i} + b_{1i} X_1 + \dots + b_{pi} X_p\}} \quad (۸)$$

هستند که در آنها احتمال مربوط به آخرین (k امین) درجه پاسخ‌ها به نحوی تعریف می‌شود که مجموع $\{pr\{Y = j\}\}$ ضرورتاً در مورد کلیه دسته‌های موجود در مدل، برابر با عدد "یک" شود. این نوع تابع، به‌عنوان مدل لاجیت تعمیمی^{۳۷} شناخته می‌شود.

(۲) مدل ترتیبی که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$pr\{Y > j | X\} = \frac{\exp\{b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_p X_p\}}{1 + \exp\{b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_p X_p\}} \quad (۹)$$

در این مدل‌ها فرض می‌شود که بین دسته‌های مختلف پاسخ، شیب ثابتی وجود دارد. در واقع در این حالت دسته بندی متغیر پاسخ به صورت ترتیبی و از کوچک به بزرگ صورت گرفته است. به همین دلیل مدل حاصل از این حالت را مدل لاجیت ترتیبی یا لاجیت منظم می‌نامند.

(۳) مدل احتمالات یکسان به صورت

$$pr\{Y = j | X\} = \frac{\exp\{b_0 + (k-j)(b_1 X_1 + \dots + b_p X_p)\}}{1 + \sum_{i=1}^{k-1} \exp\{b_0 + (k-i)(b_1 X_1 + \dots + b_p X_p)\}} \quad (۱۰)$$

که در آن فرض می‌شود اثر متغیرهای مستقل در گذر از درجه ۱ به درجه ۲ همانند گذر از درجه j به درجه $j+1$ است [۱۶]. در تحقیق حاضر از مدل ترتیبی استفاده شده است.

۴. متغیر وابسته

متغیر وابسته در مدل‌سازی شدت تصادفات، یک متغیر دارای ساختار رتبه بندی شده و بیانگر درجه اهمیت شدت تصادف از کمترین میزان به بیشترین حد موجود است.

شدت تصادفات تهران به سه دسته صرفاً خسارتی، جرحی و فوتی تقسیم می‌شوند. در نظر گرفتن دسته‌بندی به این صورت باعث می‌شود که تعداد تصادفات موجود در گروه صرفاً خسارتی به مراتب بیشتر از سایر دسته‌ها باشد. از آنجا که در نظر گرفتن یک دسته‌بندی یکسان در مورد گروه متعددی از تصادفات، امکان بهره‌گیری از نتایج مدل را کاهش می‌دهد، تصمیم گرفته شد تا با افزودن تقسیم‌بندی دیگری در مورد تصادفات صرفاً خسارتی، مدل شدت تصادفات از کاربرد و دقت بیشتری در تحلیل برخوردار شود. در مورد تصادفات صرفاً خسارتی قاعده‌تاً هزینه ریالی خسارت ناشی از تصادف، باید ملاک تعیین شدت قرار گیرد، اما عموماً تخمینی در مورد برآورد این هزینه وجود ندارد. بنابراین روشی که در تحقیق حاضر ملاک دسته‌بندی شدت تصادفات صرفاً خسارتی قرار گرفته است، تعداد وسایل نقلیه درگیر در تصادف است. در تحقیق حاضر در مواردی که بیش از دو وسیله نقلیه در یک تصادف دخیل باشند، تصادف به عنوان یک تصادف چند وسیله‌ای دارای درجه شدت بیشتری نسبت به سایر تصادفات صرفاً خسارتی در نظر گرفته شده است. براین اساس، متغیر وابسته تحلیل شدت تصادفات که با Y نشان داده می‌شود به چهار گروه ترتیبی (یا منظم) برای انجام رگرسیون دسته‌بندی شده است.

$$\left. \begin{array}{l} ۱ \text{ در تصادف خسارتی غیر چند وسیله‌ای} \\ ۲ \text{ در تصادف خسارتی چند وسیله‌ای} \\ ۳ \text{ در تصادف جرحی} \\ ۴ \text{ در تصادف فوتی} \end{array} \right\} = Y$$

جدول ۲. جزئیات اطلاعاتی موجود در بانک اطلاعات تصادفات

| کد | جزء اطلاعاتی | کد | جزء اطلاعاتی | کد | جزء اطلاعاتی |
|----|--------------|----|---------------|----|-----------------|
| ۱ | نحوه برخورد | ۲۳ | تفایص معبر | ۴۲ | نوع پلاک |
| ۲ | شغل | ۲۴ | علت تامه | ۴۵ | نوع وسیله نقلیه |
| ۳ | نوع تصادف | ۲۵ | نوع برخورد | ۴۷ | نوع گواهینامه |
| ۴ | رنگ خودرو | ۲۶ | روز هفته | ۴۸ | محل صدور |
| ۸ | مقصر بودن | ۲۹ | شرایط سطح | ۴۹ | درون یا برون |
| ۱۳ | وضع هوا | ۳۰ | نوع معبر | ۵۰ | جنسیت |
| ۱۶ | وضع روشنایی | ۳۱ | عامل انسانی | ۵۲ | دوره پلاک |
| ۲۰ | موقعیت عابر | ۳۳ | عامل وسیله | ۵۳ | شهر شماره |
| ۲۱ | رنگ لباس | ۳۵ | شدت صدمه | ۵۴ | میزان |
| ۲۲ | موانع دید | ۳۶ | وضعیت کمر بند | ۵۶ | نوع کروکی |

در این روش، برای بررسی معنی‌دار بودن آماری یک ضریب خاص (مثلاً β_j) در مدل، تست آزمون $H_0: \beta_j = 0$ در نظر گرفته می‌شود. فرض صفر بودن نتیجه آزمون مزبور دلالت بر صفر بودن مقدار ضریب پارامتر مورد نظر (مثلاً x_j) دارد و به معنی آن است که اثر پارامتر مزبور از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با صفر ندارد (آشکار است که در این شرایط کاربرد متغیر مزبور در مدل‌سازی منطقی نیست). این تست بر مبنای پارامتر بنا می‌شود. با فرض نرمال بودن توزیع، نسبت ضرایب به خطای استانداردشان تحت فرض H_0 در صورتی که σ^2 نامعلوم و توسط $Var(\hat{\beta}_j)$ تخمین زده شده باشد، دارای توزیع t با $n - p$ درجه آزادی را خواهد داشت.

$$t = \frac{\hat{\beta}_j}{\sqrt{Var(\hat{\beta}_j)}} \quad (11)$$

اگر مقدار t حاصل از معادله، بزرگتر از t شاخص با سطح اطمینان α باشد که از جدول توزیع آماری t استخراج می‌شود، فرض صفر بودن آزمون رد می‌شود. این حالت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ضریب β_j با صفر و بیانگر معنی‌دار بودن آماری اثر متغیر x_j بر متغیر وابسته است. در این صورت درج متغیر x_j در مدل از نظر آماری معنی‌دار است.

علاوه بر این، می‌توان از آزمون t برای محاسبه فاصله اطمینان مربوط به ضریب مورد نظر نیز استفاده کرد. به عنوان مثال،

جدول (۱) تعداد موارد متعلق به هر گروه از دسته‌بندی فوق را برحسب اطلاعات استخراج شده از بانک اطلاعات تصادفات تهران نشان می‌دهد. لازم به یادآوری است که از ۴۸۰۷۵۱ مورد اطلاعات موجود در مورد سه سال تصادفات شهر تهران در فاصله سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۳، ۴۳۷۴۲ مورد به دلیل وجود نقص در اطلاعات، فاقد قابلیت کدبندی شدت تصادف بوده‌اند که ناگزیر برای مدل سازی شدت تصادفات در نظر گرفته نشده‌اند.

جدول ۱. دسته‌بندی تصادفات تهران برحسب شدت

| کد شدت | تصادفات موتورسیکلت | | کل تصادفات | |
|--------|--------------------|------|------------|------|
| | تعداد | درصد | تعداد | درصد |
| ۱ | ۸۰۴۲ | ۲۷/۶ | ۳۷۰۶۳۱ | ۸۴/۸ |
| ۲ | ۴۱۴ | ۱/۴ | ۲۲۹۵۲ | ۵/۳ |
| ۳ | ۲۰۴۶۴ | ۷۰/۲ | ۴۲۶۶۵ | ۹/۸ |
| ۴ | ۲۱۲ | ۰/۷ | ۷۶۱ | ۰/۲ |
| مجموع | ۲۹۱۳۲ | ۱۰۰ | ۴۳۷۰۰۹ | ۱۰۰ |

۵. متغیرهای مستقل

متغیرهای مستقل در مدل‌سازی تصادفات غالباً عبارتند از شرایط آب و هوایی، شرایط شبکه معابر، عوامل انسانی، عامل وسیله نقلیه و غیره که به عنوان پارامترهای موثر در وقوع یا شناخت مشخصات تصادفات دخالت می‌کنند. با توجه به این که منبع دستیابی به اطلاعات تصادف، گزارشهای تهیه شده توسط مأموران راهنمایی و رانندگی از صحنه تصادفات است، طبیعتاً اطلاعات قابل درج در مدل، منحصر به موارد درج شده در این گزارش‌هاست. در شهر تهران، اطلاعات تصادفات بر مبنای فرم کام-۱۱۳ و فرم کروکی تصادفات گردآوری می‌شود. موارد کدبندی شده اطلاعات مزبور در جدول ۲ فهرست شده‌اند. بنا بر دلایل متعدد از قبیل دسته‌بندی ناصحیح گزینه‌ها در فرم کام-۱۱۳، اشتباه در ورود اطلاعات، عدم درج اطلاعات لازم و کاربرد بیش از حد گزینه "سایر"، بهره‌گیری از تمام اطلاعات مندرج در جدول (۲) در مدل مقدور نیست.

شرط منظور کردن هر متغیر مستقل در مدل، معنی‌دار بودن ضریب آن براساس نتیجه آزمون آماری است. در مورد متغیرهای مستقل، از تست آماری *wald* برای تعیین معنی‌دار بودن آماری ضرایب پارامترها بهره‌گرفته شده است.

از آنجا که مدل پرابیت در اکثر تحقیقات ایمنی در مدل‌سازی شدت، کاربرد داشته است [۱۵]، ابتدا نتایج مدل پرابیت منطبق شده بر داده‌ها ارایه شده است. اما مدل‌سازی به روش رگرسیون ترتیبی (منظم) با شیوه‌های مختلفی قابل انجام است. با کاربرد پارامترهای مندرج در جدول ۳، مدلسازی با استفاده از توابع انتقال مختلف معرفی شده در بند ۳-۳ صورت گرفته تا اختلاف میزان انطباق نتایج مدل با واقعیت در هر مورد قابل مقایسه باشد. جدول ۴ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.

لازم به یادآوری است که اعتبار مدل‌های آماری در رگرسیون ترتیبی توسط تست آماری نسبت درست‌نمایی سنجیده می‌شود [17]، که کلیه مدل‌های فوق بر اساس تست آماری مزبور در سطح اطمینان ۰/۰۵ دارای اعتبار بوده‌اند.

مقایسه نتایج ثابت می‌کند که هرچند اختلاف نتایج قابل توجه نیست، اما مدل‌های لاجیت، پرابیت، کاجیت و لگاریتم- لگاریتم منفی دارای بیشترین میزان قدرت ارایه نتایج صحیح بوده‌اند. ستون دوم جدول (۴)، بیانگر میزان درست‌نمایی مدل‌های مختلف است که در ضریب ۲- ضرب و از آن لگاریتم گرفته شده است. آشکار است کمتر بودن اعداد این ستون به منزله درست‌نمایی بیشتر مدل و انطباق بهتر نتایج با واقعیت است.

به دلیل انطباق بیشتر مدل لاجیت با واقعیت و همچنین به دلیل این که بررسی اثر پارامترها در مدل لاجیت ساده‌تر است، در ادامه نتایج مدل‌سازی صورت گرفته از این روش ارایه و به بررسی اثر متغیرهای مستقل بر متغیر پاسخ (شدت تصادف) پرداخته می‌شود. در حالت کلی، یکی از مهم‌ترین نتایج حاصل از مدل، ضرایب پارامترها (متغیرهای مستقل) است که برای تخمین میزان اثر هر پارامتر بر متغیر وابسته به کار می‌رود. اما در صورتی که متغیرهای مستقل دارای وابستگی با یکدیگر باشند، بخشی از ضریب یک متغیر به متغیرهای وابسته به آن انتقال می‌یابد و برآورد اثر خالص متغیرها بر اساس ضرایب آنها در مدل (B) غیر ممکن می‌شود. با توجه به نکته ذکر شده، به منظور ایجاد امکان بررسی اثر پارامترها، متغیرهای مستقل دارای وابستگی با یکدیگر، با محاسبه ضریب همبستگی پیرسون شناسایی شده و در مواردی که همبستگی بین دو پارامتر بیشتر از ۰/۲ یا کمتر از ۰/۲- بوده است، صرفاً یکی از متغیرها در مدل درج شده است.

با اطمینان $100(1-\alpha)$ درصد می‌توان بیان نمود که β_j بین دو حد زیر قرار دارد:

$$\hat{\beta}_j \pm t_{1-\alpha/2, n-p} \sqrt{Var(\hat{\beta}_j)} \quad (12)$$

که در آن $t_{1-\alpha/2, n-p}$ مقدار شاخص توزیع t است که از جدول توزیع مزبور با $n-p$ درجه آزادی و با درجه اطمینان α استخراج شده است. آشکار است اگر فرض صفر آزمون رد شده باشد، عدد صفر باید خارج از بازه مشخص شده توسط این معادله قرار گیرد [۱۵].

۶. مدل شدت تصادفات موتورسیکلت شهر تهران

در این بخش نتایج کاربرد روش رگرسیون ترتیبی با کاربرد متغیرهای مستقل قابل استخراج از بانک اطلاعات تصادفات تهران برای ساخت مدلی که بتواند شدت تصادفات موتورسیکلت به عنوان متغیر وابسته تحلیل را پیش‌بینی کند ارایه می‌شود. منظور از تصادفات موتورسیکلت، تصادفاتی است که در بین وسایل نقلیه درگیر در آن، حداقل یکی از وسایل نقلیه، موتورسیکلت بوده باشد. با سعی و خطای زیادی که در آزمودن ترکیبات مختلف متغیرهای مستقل صورت گرفته، در نهایت متغیرهای نشان داده شده در جدول (۳) به عنوان ترکیبی از متغیرها که قادر به ارایه بیشترین میزان قدرت پیش‌بینی مدل شدت تصادفات موتورسیکلت باشند انتخاب شده‌اند.

نتایج جدول مزبور با استفاده از روش پرابیت ترتیبی (منظم) به دست آمده‌اند. در این جدول، نتیجه محاسبه آماره $wald$ در ستون سوم ارایه شده و سپس با توجه به میزان درجات آزادی هر عامل (چون متغیرها همگی مجازی و دارای کد صفر یا یک هستند، درجه آزادی در هر صورت $1-1=0$ می‌باشد) و استفاده از جدول آماری توزیع مربوط، سطح معنی‌داری آماری متغیر در مدل محاسبه شده است. معمولاً سطح معنی‌داری آماری کمتر از ۰/۰۵ را ملاک تشخیص حضور یک متغیر در مدل قرار می‌دهند. در این صورت تست آماری صورت گرفته این گونه تعبیر می‌شود که حداقل با ۹۵ درصد اطمینان از نظر آماری می‌توان حضور متغیر مورد نظر را در مدل معتبر دانست. چنان چه در جدول (۳) مشاهده می‌شود سطح معنادار بودن آماری درج متغیرهای مشتقل معرفی شده در این جدول در تمام موارد کمتر از ۰/۰۵ است.

جدول ۳. نتیجه مدل سازی شدت تصادفات موتورسیکلت به روش پرابیت ترتیبی

| مشخصات متغیر | تعداد به ازاء متغیر دارای کد برابر با | | فاصله اطمینان ۹۵٪ | | انحراف معیار | میانگین | سطح معادار بودن آماری | wald | کد متغیر | نام متغیر |
|------------------------|---------------------------------------|------|-------------------|-------|--------------|---------|-----------------------|-------|-------------|-----------------------------------------|
| | یک | صفر | حد پائین | حد | | | | | | |
| انحراف میانگین ف معیار | ۰/۱۵ | ۳۶۳۶ | ۲۱۸۹۳ | -۱/۹۵ | -۲/۷۹ | ۰/۲۱ | -۲/۳۷ | ۱۱۵۵۷ | Intercept 1 | ضریب ثابت ۱ |
| | | | | -۱/۸۹ | -۲/۸۳ | ۰/۲۱ | -۲/۳۱ | | Intercept 2 | ضریب ثابت ۲ |
| | | | | ۲/۱۳ | ۱/۲۹ | | ۱/۷۱ | | Intercept 3 | ضریب ثابت ۳ |
| ۰/۳۶ | ۰/۱۵ | ۳۸۲۲ | ۲۱۷۰۷ | -۰/۱۱ | -۰/۱۷ | ۰/۰۲ | -۰/۱۴ | ۵۸ | VAL1_1 | نحوه برخورد = جلو به جلو |
| ۰/۳۶ | ۰/۱۵ | ۳۸۲۲ | ۲۱۷۰۷ | -۰/۱۱ | -۰/۱۷ | ۰/۰۲ | -۰/۱۴ | ۸۱ | VAL1_2 | نحوه برخورد = جلو به عقب |
| ۰/۲۹ | ۰/۹۱ | ۲۳۲۰ | ۲۳۲۴ | ۰/۰۰ | -۰/۰۸ | ۰/۰۲ | -۰/۰۴ | ۵ | VAL13_1 | وضعیت هوا = صاف |
| ۰/۱۹ | ۰/۹۶ | ۲۴۷۳ | ۷۹۸ | ۰/۱۹ | ۰/۰۷ | ۰/۰۳ | ۰/۱۳ | ۱۹ | VAL29_1 | وضعیت روسازی = خشک |
| ۰/۴۵ | ۰/۷۳ | ۱۸۴۴ | ۷۰۸۲ | -۰/۰۱ | -۰/۰۵ | ۰/۰۱ | -۰/۰۳ | ۸ | VAL16_1 | وضعیت روشنایی = روز |
| ۰/۰۷ | ۰/۰۰ | ۱۱۰ | ۲۵۴۱۹ | ۰/۳۶ | ۰/۰۸ | ۰/۰۷ | ۰/۲۲ | ۹ | V22_7 | موانع دید = وجود شیب |
| ۰/۰۷ | ۰/۰۰ | ۱۰۵ | ۲۵۴۲۴ | ۰/۳۸ | ۰/۰۸ | ۰/۰۷ | ۰/۲۳ | ۹ | V22_8 | موانع دید = وجود پیچ |
| ۰/۰۷ | ۰/۰۰ | ۱۱۳ | ۲۵۴۱۶ | ۰/۳۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۷ | ۰/۱۶ | ۵ | V22_123 | موانع دید = وجود ساختمان یا مانع فیزیکی |
| ۰/۱۵ | ۰/۰۲ | ۵۵۱ | ۲۴۹۷۸ | ۰/۱۹ | ۰/۰۶ | ۰/۰۳ | ۰/۱۲ | ۱۴ | V23_12 | نقص معبر = نقص در علائم |
| ۰/۲۹ | ۰/۰۹ | ۲۲۸۵ | ۲۳۲۴۴ | -۰/۰۹ | -۰/۱۶ | ۰/۰۲ | -۰/۱۳ | ۵۰ | V24_0219 | علت تصادف = عدم رعایت فاصله عرضی |
| ۰/۱۸ | ۰/۰۳ | ۸۵۵ | ۲۴۶۷۴ | -۰/۰۷ | -۰/۱۸ | ۰/۰۳ | -۰/۱۲ | ۲۰ | V24_23 | علت تصادف = عبور از چراغ قرمز |
| ۰/۱۴ | ۰/۰۲ | ۴۹۹ | ۲۵۰۳۰ | -۰/۰۵ | -۰/۱۸ | ۰/۰۳ | -۰/۱۲ | ۱۳ | V24_25 | علت تصادف = دور زدن در محل ممنوع |
| ۰/۴۶ | ۰/۳۱ | ۸۳۶۰ | ۱۷۱۶۹ | -۰/۰۷ | -۰/۱۲ | ۰/۰۱ | -۰/۱۰ | ۴۸ | V24_3 | علت تصادف = کم عرض بودن معبر |
| ۰/۲۸ | ۰/۰۹ | ۲۰۷۲ | ۲۳۴۵۷ | -۰/۰۷ | -۰/۱۵ | ۰/۰۲ | -۰/۱۱ | ۲۷ | V24_0911 | علت تصادف = انحراف به چپ |
| ۰/۳۴ | ۰/۱۴ | ۳۳۳۰ | ۲۲۱۹۹ | -۰/۱۰ | -۰/۱۷ | ۰/۰۲ | -۰/۱۴ | ۵۳ | V24_1415 | علت تصادف = عبور از محل ممنوع |
| ۰/۰۶ | ۰/۰۰ | ۹۳ | ۲۵۴۳۶ | ۰/۵۱ | ۰/۱۹ | ۰/۰۸ | ۰/۳۵ | ۱۸ | V25_5 | نوع تصادف = برخورد با شیء ثابت |
| ۰/۲۶ | ۰/۰۷ | ۱۹۳۷ | ۲۳۵۹۲ | -۰/۰۳ | -۰/۱۰ | ۰/۰۲ | -۰/۰۶ | ۱۳ | VAL30_1 | محل تصادف = خیابان یک طرفه |
| ۰/۱۷ | ۰/۰۳ | ۷۴۹ | ۲۴۷۸۰ | ۰/۲۳ | ۰/۱۲ | ۰/۰۳ | ۰/۱۸ | ۳۹ | V30_9_10 | محل تصادف = بزرگراه یا کمربندی |
| ۰/۴۹ | ۰/۶۰ | ۱۴۶۷ | ۱۰۸۵۰ | -۰/۲۸ | -۰/۲۳ | ۰/۰۱ | -۰/۲۰ | ۷۳۸ | MOT_45M | مقصر حادثه = موتورسیکلت |
| ۰/۴۸ | ۰/۶۵ | ۱۷۶۱ | ۷۹۱۵ | -۰/۲۰ | -۰/۲۴ | ۰/۰۱ | -۰/۲۲ | ۳۱۶ | V45_0MG | دخیل در حادثه = سواری شخصی |
| ۰/۱۶ | ۰/۰۳ | ۶۸۵ | ۲۴۸۴۴ | -۰/۰۷ | -۰/۱۹ | ۰/۰۳ | -۰/۱۳ | ۱۹ | V45_1MG | دخیل در حادثه = سواری کرایه |
| ۰/۱۶ | ۰/۰۳ | ۶۸۵ | ۲۴۸۴۴ | ۰/۱۶ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۱۰ | ۹ | V45_23MG | دخیل در حادثه = اتوبوس یا مینی بوس |
| ۰/۱۴ | ۰/۰۲ | ۵۵۰ | ۲۴۹۷۹ | ۰/۳۰ | ۰/۱۵ | ۰/۰۴ | ۰/۲۳ | ۳۷ | V45_57MG | دخیل در حادثه = وسایل نقلیه سنگین |
| ۰/۵۰ | ۰/۴۷ | ۱۳۱۱ | ۱۲۴۱۴ | -۰/۰۵ | -۰/۰۹ | ۰/۰۱ | -۰/۰۷ | ۴۲ | INTERSEC | محل تصادف = تقاطع |
| ۰/۴۸ | ۰/۶۶ | ۱۶۹۲ | ۸۶۰۶ | ۰/۰۰ | -۰/۰۴ | ۰/۰۱ | -۰/۰۲ | ۵ | V31_5 | عامل موثر = بی توجهی به مقررات |
| ۰/۵۰ | ۰/۴۶ | ۱۱۵۲ | ۱۴۰۰۰ | ۰/۹۰ | ۰/۸۵ | ۰/۰۱ | ۰/۸۷ | ۵۲۹ | LC_0 | گواهینامه راننده مقصر = نامعلوم |
| ۰/۱۶ | ۰/۰۳ | ۶۸۳ | ۲۴۸۵۶ | ۰/۱۷ | ۰/۱۵ | ۰/۰۳ | ۰/۱۱ | ۱۳ | TIME1 | زمان تصادف = صفر تا دو صبح |
| ۰/۰۵ | ۰/۰۰ | ۶۹ | ۲۵۴۶۰ | ۰/۴۷ | ۰/۰۸ | ۰/۱۰ | ۰/۲۷ | ۸ | TIME3 | زمان تصادف = چهار تا شش صبح |
| ۰/۱۶ | ۰/۰۲ | ۶۴۵ | ۲۴۸۸۴ | ۰/۱۸ | ۰/۰۶ | ۰/۰۳ | ۰/۱۲ | ۱۶ | TIME4 | زمان تصادف = شش تا هشت صبح |
| ۰/۲۶ | ۰/۰۷ | ۱۸۸۵ | ۲۳۶۴۴ | ۰/۰۸ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۷ | TIME5 | زمان تصادف = هشت تا ده صبح |
| ۰/۳۱ | ۰/۱۱ | ۲۸۶۰ | ۲۲۶۶۹ | -۰/۰۱ | -۰/۰۷ | ۰/۰۱ | -۰/۰۴ | ۷ | TIME6 | زمان تصادف = ده تا ۱۲ ظهر |
| ۰/۲۸ | ۰/۰۹ | ۱۹۰۳ | ۲۳۶۲۶ | ۰/۰۰ | -۰/۰۷ | ۰/۰۲ | -۰/۰۴ | ۵ | MAH2 | ماه تصادف = اردیبهشت |
| ۰/۲۶ | ۰/۰۷ | ۱۸۶۴ | ۲۳۶۶۵ | ۰/۰۰ | -۰/۰۷ | ۰/۰۲ | -۰/۰۴ | ۴ | MAH9 | ماه تصادف = آذر |
| ۰/۲۵ | ۰/۰۷ | ۱۵۶۷ | ۲۳۹۶۲ | ۰/۱۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ | ۱۰ | MAH11 | ماه تصادف = بهمن |
| ۰/۲۶ | ۰/۰۷ | ۱۷۰۵ | ۲۳۸۲۴ | ۰/۱۱ | ۰/۰۴ | ۰/۰۲ | ۰/۰۸ | ۱۶ | MAH12 | ماه تصادف = اسفند |
| ۰/۳۲ | ۰/۱۱ | ۲۹۵۰ | ۲۲۵۷۹ | ۰/۰۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۰۵ | ۱۰ | DAY7 | روز تصادف = جمعه |

جدول ۴. مقایسه مدل‌های مختلف رگرسیون ترتیبی شدت تصادفات

| معیار سنجش میزان صحت انطباق مدل | | | | | | روش مدل سازی |
|---------------------------------|------------|---------------|-----------|-------------|-------------------|--------------|
| R square | | | درجه زادی | chi- square | - 2Log Likelihood | |
| Mc Fadden | Neglekerke | cox and snell | | | | |
| ۰/۲۴۱ | ۰/۳۸۱ | ۰/۲۸۸ | ۳۶ | ۸۶۷۲ | ۱۴۶۴۷ | پرابیت |
| ۰/۲۴۶ | ۰/۳۸۷ | ۰/۲۹۳ | ۳۶ | ۸۸۴۰ | ۱۴۴۷۹ | لاجیت |
| ۰/۲۳۵ | ۰/۳۷۳ | ۰/۲۸۲ | ۳۶ | ۸۴۵۸ | ۱۴۸۶۲ | NLogLog |
| ۰/۲۳۸ | ۰/۳۷۸ | ۰/۲۸۵ | ۳۶ | ۸۵۷۹ | ۱۴۷۴۱ | کاجیت |

در واقع کدهای ۳ و ۴ تعریف شده در مورد متغیر شدت در بند ۴، به عنوان وقوع تصادف شدید و کدهای ۱ و ۲ در تعریف مزبور، به عنوان تصادفات غیرشدید تلقی شده‌اند.

جدول ۵ نتیجه مدل‌سازی به روش لاجیت دوگانه و کاربرد ۲۶ حالت مختلف ترکیب متغیرهای مستقل را در مورد پیش‌بینی شدت تصادفات موتورسیکلت نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که هر یک از ردیف‌های مندرج در جدول ۵ نشان‌دهنده یک مدل مجزا است. هر یک از مدل‌های مزبور به صورت مستقل، قابل کاربرد در زمینه پیش‌بینی شدت تصادفات موتورسیکلت است. در هر صورت، ردیف‌های مختلف جدول صرفاً ترکیب و ضرایب متغیرهای مستقل را تغییر می‌دهد و شکل مدل و ساختار آن ثابت است.

مقدار α سطح معنی‌دار بودن درج متغیر مستقل در مدل براساس تست آماری Wald و مقدار β ضریب متغیر مزبور را نشان می‌دهد. به عنوان مثال با کاربرد متغیرهای موجود در ردیف اول جدول ۵، می‌توان یکی از مدل‌های قابل استفاده در زمینه پیش‌بینی احتمال شدید بودن تصادفات موتورسیکلت را به صورت زیر نوشت:

$$\logit(Y) = \log \frac{p}{1-p} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n \quad (13)$$

$$= 0.083 + 0.36 VAL29-1 + 0.55 V22-8 + \dots + 0.24 MAH11$$

که در آن:

$$Y = \text{متغیر وابسته تحلیل است.}$$

فرم مدل مزبور را می‌توان تبدیل کرده و به صورت معادله زیر نوشت:

$$\frac{p}{1-p} = e^{(0.083 + 0.36 VAL29-1 + 0.55 V22-8 + \dots + 0.24 MAH11)} \quad (14)$$

که در آن:

$$p = \text{احتمال شدید بودن تصادف است.}$$

به عنوان مثال متغیرهای $VAL13-1$ و $VAL29-1$ که یکی بیانگر وضعیت جوی و دیگری بیانگر وضعیت روسازی است، نمی‌توانند در صورت ورود در مدل منجر به برآورد اثرات منفرد صحیح شوند.

وابستگی این دو متغیر از آنجا ناشی شده است که در شرایط بارندگی ($VAL13-1 \neq 1$)، وضعیت روسازی خشک نیست، ($VAL29-1 \neq 1$). آشکار است که اگر هر دو متغیر در مدل وجود داشته باشند، بخشی از اثر هر یک ممکن است به دیگری منتقل و برآورد اثر خالص هر متغیر بر میزان شدت تصادف غیرممکن شود.

بحث فوق در مورد این دو متغیر، قابل تعمیم به اثر متقابل متغیرهای مختلف موجود در مدل است. در این حالت برای انتخاب یک متغیر و حذف متغیرهای وابسته به آن، جایگشت‌های بسیاری قابل تصور است که ارایه کننده ترکیب‌های مختلف متغیرها، به نحوی که وابستگی آنها از یک حد مشخص کمتر باشد می‌شود.

از آنجا که استخراج این جایگشت‌ها یک فرآیند تکراری و زمان‌بر بوده و در کل این تحقیق بارها نیاز به تکرار آن وجود داشته است، یک برنامه *Visual Basic* در قالب نرم افزار *Excel* برای محاسبه خودکار ترکیب مختلف پارامترهای مستقل تهیه شده است.

کاربرد این برنامه در مورد متغیرهای موردنظر در جدول ۳، منجر به ارایه ۲۶ حالت مختلف از پارامترهای فاقد استقلال متقابل شده که می‌تواند مبنای ساخت مدلی که استنتاج در مورد اثر پارامترها را مقدور می‌سازد قرار گیرد.

در این مورد به دلیل انطباق بهتر مدل لاجیت بر داده‌ها و همچنین سهولت تفسیر اثر ضرایب متغیرها در مدل لاجیت، از این نوع مدل استفاده شده است.

همچنین به دلیل ایجاد امکان انطباق بهتر مدل بر واقعیت و پردازش مناسب اثر پارامترها، متغیر شدت به یک متغیر دوگانه به صورت زیر تبدیل شده است.

$$\left. \begin{array}{l} Y = 1, \text{ در صورتی که تصادف جرحی یا فوتی باشد.} \\ Y = 0, \text{ در صورتی که تصادف صرفاً خسارتی باشد.} \end{array} \right\} = Y$$

۷. بررسی اثر عوامل مختلف بر شدت تصادفات

موتورسیکلت

احتمال وقوع تصادفات شدید به سایر تصادفات از اهمیت بیشتری در تحلیل حاضر (نسبت به عدد مطلق احتمال) برخوردار است، بررسی اثر پارامترها بر شدت تصادفات با استفاده از پارامتر اثر مقدار احتمال صورت می‌گیرد. یادآوری می‌شود بر اساس موارد ذکر شده در بند ۳-۲، تابع نمایی ضرایب ثابت $\exp\{\beta_j\}$ ، بیانگر مقدار احتمال است. جدول شماره ۶ مقادیر این پارامتر را در مورد مدل‌های مندرج در جدول (۵) نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۶، متغیر مجازی $LC-O$ دارای بیشترین اثر بر افزایش شانس وقوع تصادفات شدید در تصادفات موتورسیکلت بوده است. مقدار متغیر $LC=0$ در صورتی برابر با یک می‌شود که راننده وسیله نقلیه مقصر فاقد گواهینامه باشد و یا مشخصات گواهینامه وی به هر دلیل قابل ثبت در فرم تصادفات نبوده باشد. بر اساس نتایج حاصل، چنین وضعیتی درجه شدید بودن تصادفات (نسبت احتمال شدید بودن تصادفات به غیرشدید بودن آن $(p/1-p)$) را تقریباً ۱۸ برابر افزایش می‌دهد. این اثر برحسب سایر پارامترهای درگیر در شدت، بین ۱۷/۲۸ تا ۱۹/۳۴ متغیر بوده است.

ارایه مدل‌های مختلف، امکان بررسی اثر پارامترها در شرایط گوناگون را فراهم می‌کند. اصولاً اثر یک متغیر مستقل بر متغیر وابسته کمیتی وابسته به β ضریب متغیر مستقل است (در رگرسیون خطی خود β) که میزان تغییر حادث در متغیر وابسته را (شدت تصادفات) در اثر ایجاد یک واحد تغییر در متغیر مستقل موردنظر با فرض آن که سایر پارامترهای لحاظ شده در مدل، ثابت باشند نشان می‌دهد. این عبارت آخر که دلالت بر ثابت بودن شرایط ناشی از سایر متغیرهای مدل می‌کند مفهوم جایگزینی آزمون تجربی مدل را به صورت عملی نشان می‌دهد و مشخص می‌کند که پارامترهای لحاظ شده در مدل چه تأثیری در تعبیر نتایج آن دارند.

در هر صورت برخلاف مسایل رگرسیون خطی، کاربرد مستقیم ضریب β برای برآورد اثر هر متغیر بر تغییرات شدت تصادفات مقدور نیست و در این مورد باید از اثر ثانویه و یا اثر متغیر بر مقدار احتمال استفاده شود. با توجه به آن که بررسی نسبت

جدول ۶. اثر متغیرها بر نسبت مقدار احتمال وقوع تصادفات شدید موتورسیکلت‌ها

| ردیف | متغیرهای مستقل تحلیل | نسبت مقدار احتمال وقوع تصادفات شدید | |
|------|----------------------|-------------------------------------|---------|
| | | نسبت | میانگین |
| ۱ | VAL1_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۷ |
| ۲ | VAL2B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۷ |
| ۳ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۶ |
| ۴ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۸ |
| ۵ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۷ |
| ۶ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۸ |
| ۷ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۷ |
| ۸ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۶ |
| ۹ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۸ |
| ۱۰ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۵ |
| ۱۱ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳ |
| ۱۲ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۳ |
| ۱۳ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۸ |
| ۱۴ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۸ |
| ۱۵ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۱ |
| ۱۶ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳ |
| ۱۷ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۸ |
| ۱۸ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۸ |
| ۱۹ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۷ |
| ۲۰ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۹ |
| ۲۱ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۱ |
| ۲۲ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۲ |
| ۲۳ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۱ |
| ۲۴ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۱ |
| ۲۵ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۹ |
| ۲۶ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳/۹ |
| ۲۷ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳ |
| ۲۸ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳ |
| ۲۹ | VAL1B_1 | ۱/۲۴ | ۳۳ |

عوامل موثر بر شدت تصادفات در این بند به ترتیب میانگین اثر متغیرها بر درجه شدید بودن تصادف مورد بررسی قرار می‌گیرند. بر این اساس، دومین عاملی که اثر قابل توجه بر شدت تصادفات دارد $Time3$ است. این پارامتر یک متغیر مجازی تعریف شده در سیستم است که مقدار آن در صورت وقوع تصادف بین ساعت ۴ تا ۶ صبح، یک و در غیر این صورت صفر است. بررسی اثر این متغیر بیانگر آن است که وقوع تصادفات موتورسیکلت بین ساعت ۴ تا ۶ صبح می‌تواند احتمال شدید بودن تصادف را تا ۵ برابر افزایش دهد. میانگین اثر این پارامتر بر شدت تصادفات در حدود ۴/۴ بوده که تغییرات آن بستگی به سایر پارامترهای درگیر در مدل داشته است.

سومین عامل دارای بیشترین اثر بر شدت تصادفات موتورسیکلت، $V45-23MG$ است. متغیر مزبور یک متغیر مجازی است که در صورت دخیل بودن مینی‌بوس یا اتوبوس در تصادف، مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل، یک بودن مقدار این پارامتر می‌تواند شانس احتمال وقوع تصادفات شدید را ۲/۲ برابر کند. این نتیجه که از بین انواع مختلف وسایل نقلیه، حضور همزمان مینی‌بوس یا اتوبوس با موتورسیکلت در تصادف، منجر به شدیدترین برخوردها نسبت به سایر ترکیبات می‌شود، نکته‌ای است که نیاز ویژه به تدوین راهکارهای ایمنی برای مجزا نمودن این دو گروه وسایل نقلیه را اثبات می‌کند. لازم به یادآوری است که در مطالعات رگرسیون، هدف از کشف روابط، معرفی روابط علت و معلولی بین پارامترها نیست، بلکه هدف، شناخت وابستگی و اثر متغیرهاست. به‌عنوان مثال، علت نتیجه حاصل در این مورد ممکن است وجود خط ویژه اتوبوس در سطح شهر و استفاده غیرمجاز موتورسیکلت‌ها از این خطوط باشد که منجر به تشدید تصادف می‌شود. اثر این علت غایب در تحلیل، به‌صورت طبیعی در متغیر $V45-23MG$ لحاظ شده و نتایج حاصل، بیانگر اثر قابل توجه ارتباط بین شدت تصادفات موتورسیکلت با حضور اتوبوس یا مینی‌بوس در تصادف است. با کاربرد قضاوت‌های مهندسی و فنی که مستلزم تحلیل نتایج رگرسیون است می‌توان یکی از راهکارهای جلوگیری از شدت تصادفات موتورسیکلت را الزام برنامه‌ریزان شهری به در نظر گرفتن خط ویژه موتورسیکلت در معابر، در صورت وجود خط ویژه اتوبوس در معبر مزبور، در نظر گرفت. در واقع با توجه به تجارب حاصل از گسترش خطوط ویژه اتوبوس در شهر تهران، در صورت اختصاص بخشی از عرض معبر به عبور

۲ برابر افزایش یابد.

میانگین میزان این اثر برحسب سایر پارامترهای درگیر در مدل (فرض ثابت بودن شرایط متفاوت) ممکن است بین ۱/۷۷ تا ۲/۰۶ نوسان داشته باشد.

پنجمین عامل موثر بر شدت تصادفات موتورسیکلت، مربوط به متغیر $V45-57MG$ است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل، در صورت دخیل بودن کامیون یا تریلی در یک تصادف، احتمال شدید بودن ممکن است تا حدود ۲/۵ برابر افزایش یابد.

لازم به یادآوری است که به دلیل وجود ارتباط بین این پارامتر با پارامتر $V45-0MG$ ، تحلیل اثر جزئی هر یک از این متغیرها با حضور متغیر دیگر در مدل نادرست است، زیرا بخشی نامعلوم از اثر یک متغیر به ضریب متغیر دیگر انتقال می‌یابد. بنابراین ضرایب متغیر مزبور تنها در مدل‌هایی که متغیر $V45-0MG$ در آنها وجود ندارد قابل تحلیل است.

در این موارد مشاهده شده که به صورت میانگین، این پارامتر می‌تواند ۲/۴ برابر نمودن احتمال شدید شدن تصادفات را تا ۲/۴ برابر افزایش دهد.

ششمین عامل موثر بر شدت تصادفات موتورسیکلت، مربوط به متغیر $V22-8$ است. با توجه به تعریف متغیر مزبور، احتمال تشدید تصادفات در صورت وجود پیچ (قوس افقی) به‌عنوان مانع دید در محل تصادف، در حدود ۱/۷ برابر است. اثر این پارامتر تقریباً برابر با پارامتر $V22-123$ است که براساس آن در صورت وجود ساختمان، کیوسک و یا موانع فیزیکی به‌عنوان مانع دید، باز هم احتمال وقوع تصادفات شدید در حدود ۱/۷ برابر می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اثر وجود موانع دید در محل

۸. نتیجه گیری

در تحقیق حاضر نشان داده شده است که انطباق نتایج حاصل از کاربرد مدل‌های لاجیت و پرابیت در مورد پیش‌بینی شدت تصادفات موتورسیکلت تقریباً یکسان و دارای اعتبار آماری است. پارامترهای مختلفی که نشان دهنده شرایط آب‌وهوایی، رانندگان، وسایل نقلیه و ... بوده است. در تحلیل به‌عنوان متغیر مستقل وارد شده‌اند و اثر متغیرهایی که براساس تست های آماری دارای اعتبار بوده اند مورد بررسی قرار گرفته است.

در اثر نتایج تحقیق حاضر علاوه بر آن که امکان پیش‌بینی شدت تصادفات موتورسیکلت با بهره‌گیری از روش پرابیت و در ۴ درجه شدت فراهم شده است، مشخص شده که نامشخص بودن اطلاعات گواهینامه راننده مقصر، وقوع تصادف بین ساعت ۴ تا ۶ صبح، دخیل بودن مینی‌بوس یا اتوبوس در تصادف، وقوع تصادف در بزرگراه یا کمربندی، برخورد با وسایل نقلیه سنگین، وجود مانع دید، وقوع تصادف بین ساعت ۲۴ تا ۲ بامداد، وجود نقص در علائم، عواملی هستند که باعث افزایش شدت تصادفات موتورسیکلت می‌شوند و باید در تدوین برنامه های ایمنی موتورسیکلت‌سواران مورد توجه قرار گیرند.

۹. مراجع

۱. ادریسی، علی (۱۳۸۰) "مدل‌سازی فاکتورهای مؤثر در شدت و تواتر تصادفات کامیون‌ها در جاده‌های دوخطه برون‌شهری با استفاده از مدل لاجیت و شبکه عصبی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد راه‌وتراپی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.

- Renski, H., Khattak, A. and Council, F.(1999) "Impact of speed limit increase on crash severity: analysis of single-vehicle crashes on North Carolina Interstate Highway" (Paper no 990975). Presented at the 78th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C.
- Hamed, M.H and Easa, M.S. (1998) "Ordered Probit modelling of seat belt usage", Journal of Transportation Engineering, Vol.124, No.3., pp.271-276.
- Kockelman, M.K. and Kweon, Y.J. (2001) "Driver injury severity: An application of ordered Probit models", Paper submitted to

تصادف، باعث می‌شود احتمال نسبی شدت تصادف به ۱/۷ برابر برسد.

همچنین بر اساس نتایج مندرج در جدول ۶، وقوع تصادف بین ساعت ۲۴ تا ۲ بامداد نیز احتمال شدید بودن تصادف را حدود ۱/۷ برابر افزایش می‌دهد. این اثر در مورد وقوع تصادفات بین ساعات ۶ تا ۸ صبح، عدد ۱/۶ است. براساس نتایج حاصل، در مورد تصادفات واقع شده تا قبل از ساعت ۱۰ صبح، احتمال شدید بودن تصادف بیشتر است. اثر ساعت تصادف در مواردی که پارامتر نشان‌دهنده آن در مدل وجود ندارد، قابل چشم‌پوشی است.

پارامتر دیگری که براساس نتایج مندرج در جدول ۶ بر تشدید تصادفات نقش دارد، $Val\ 23-12$ است. براساس نتایج حاصل، وجود نقص علائم عمودی یا افقی، باعث می‌شود تا شانس احتمال تشدید تصادفات ۱/۶ برابر شود. بر اساس نتایج مزبور، تلاش در جهت رفع نقایص معابر از نظر تکمیل علائم موردنیاز، کمک قابل‌توجهی به کاهش شدت تصادفات موتورسیکلت می‌کند، به نحوی که اگر تمام مشکلات مرتبط با آن حذف شود، احتمال شدت تصادفات موتورسیکلت ۰/۶۳ برابر خواهد شد که کاهش قابل توجهی در ایجاد جرح یا فوت افراد پدید می‌آورد.

براساس نتایج حاصل از تحلیل متغیر $Val\ 29-1$ ، در صورتی که شرایط سطح روسازی عادی (فاقد رطوبت یا شرایط غیرعادی) باشد، احتمال شدید بودن تصادف حدود ۱/۴۶ برابر می‌شود. این امر به صورت غیرمستقیم اثر توجه رانندگان به دقت عمل در رانندگی را باز می‌تابد، به گونه‌ای که در شرایط غیرعادی سطح راه، که نیاز به دقت مضاعف در رانندگی دارد و ناگزیر با سرعت کمتر حرکت در معابر همراه است، شدت تصادفات $0.68 = 1/(1/46)$ برابر می‌شود.

وقوع برخورد به صورت جلو به جلو $Val\ 1-1$ و دخیل بودن وسایل نقلیه مسافرکش $Val\ 45-1MG$ نیز عواملی هستند که شانس نسبت احتمال وقوع را حدود ۱/۳ برابر می‌کنند.

بر اساس نتایج حاصل، وقوع تصادف در ماه بهمن نیز معمولاً با شدت تصادفات همراه است.

در این حالت احتمال شدید بودن تصادف ۱/۲۵ برابر است. البته اثر فصل تصادف، تغییرات ساعت روشنایی روزانه، یخبندان و سایر عوامل نهفته در این پارامتر را نیز منعکس می‌کند. سایر پارامترها اثر چندانی در افزایش شدت تصادفات موتورسیکلت ندارند.

14. Rodriguez. G. (2001) "wvs 509- generalized linear models", U.S.A., Princeton University.
15. Willits, Neil "The pragmatist's guide to statistics: Logistic Regression". USA, UC Davis Department of Statistics.
16. SPSS Inc. (2003) "SPSS 12.0 Command Syntax Reference", Chicago, U.S.A.
17. Ridgeway, G. (2003) "Strategies and methods for prediction", Chapter 6 of the Handbook of Data Mining, Lawrence-Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey.
5. Lee, J. and Mannering, F. (1999) "Analysis of road accident frequency and severity and roadside safety management", Find Research Report , Research Project T9903, Task 97, Washington State Transportation Center.
6. Krull, A.K. and Khattak, J.A. (2000) "Injury effects of rollovers and events sequence in single-vehicle crashes", Presented at the 79th Annual Meeting of Transportation Research Board.
7. Vogt, A., and Bared, J.G.(1998) "Accident models for two-lane rural roads: Segments and intersections", Federal Highway Administration , Report Number FHWA-RD-98-133, No.3A5A, Final Report, Mclean, USA.

پانویس ها:

- 1-Renski
- 2- Khattak
- 3- Ordered Probit Model
- 4- Kockelman
- 5- Lee
- 6- Mannering
- 7- Krull
- 8- Khattak
- 9- Vogt
- 10- Bared
- 11- Kim
- 12- Nitz
- 13- Chang
- 14- Mannering
- 15- Chira - Chavala
- 16- Ordinal Logistic Regression
- 17- Binary
- 18- Binomial Distribution
- 19- Odds
- 20- Log – odds
- 21- Odds ratio
- 22- Probit
- 23 Cauchit
- 24-Logit
- 25- Negative Log – Log (NlogLog)
- 26-Cauchy Distribution
- $F(x|x_0, \gamma) = 1/\pi \times \arctan((x-x_0)/\gamma) + 1/2$
- 27-Polytomous (Polychotomous) Logistic Regression
8. Richardson, J., Kim, K.[et al] (1996) "Patterns of motor vehicle crash involvement by driver age and sex in Hawaii", Journal of Safety Research, 27:2.
9. Chang, L.Y. and Mannering, F. (1999) "Analysis of injury severity and vehicle occupancy in truck-non-truck-involved accidents", Accident Analysis and Prevention, 31, pp.579-592.
10. Chira-Chavala, T. and Cleveland, D. (1986) "Causal analysis of accident involvements for the nation's large trucks and combination vehicles", Transportation Research Record, No. 1047.
11. OECD Report (1997) "Road safety principles and models: Review of descriptive, predictive, risk and accident consequence models", OCDE / GD (97)/153, Paris, Organization for Economic Co-operation and Development.
۱۲. شریفی، حسن پاشا و نجفی زند، جعفر (۱۳۷۵) "روشهای آماری در علوم رفتاری"، تهران، نشر دانا.
۱۳. ابن شهر آشوب، مرتضی و میکائیلی، فتاح (۱۳۶۶) "مفاهیم و روشهای آماری"، تهران، مرکز نشر دانشگاهی.